



## AUSLEGESCHRIFT 1110962

P 14912 XII/47f

ANMELDETAG: 29. SEPTEMBER 1955

BEKANNTMACHUNG

DER ANMELDUNG

UND AUSGABE DER

AUSLEGESCHRIFT: 13. JULI 1961

## 1

Es ist bekannt, Behälter und Rohre als Wickelhohlkörper herzustellen. Diese Herstellungsart hat den Vorteil, daß mittels einer verhältnismäßig einfachen Vorrichtung Gefäße und Rohre von beliebig großer Wanddicke erzeugt werden können. Die Wand solcher Wickelhohlkörper kann aus verschiedenen Werkstoffen bestehen und in ihren Teilen verschiedene Aufgaben erfüllen, z. B. kann die Innenwandung einen hohen Widerstand gegen Chemikalien, die Außenwandung hohe Festigkeit besitzen. Hohlkörper mit solchen oder ähnlichen Eigenschaften wurden zunächst dadurch hergestellt, daß man auf ein Rohr Ringe aufschraubte. Man hat aber auch schon an Stelle solcher Ringe Bänder fortlaufend auf einem Kernrohr aufgewickelt und sie durch Verschweißen der Bandkanten oder durch ein Ineinandergreifen entsprechender profilierter Bänder befähigt, Längskräfte, die sich aus dem Innendruck des geschlossenen Behälters oder der Leitung ergeben, aufzunehmen.

Im Bestreben, immer höhere Drücke in Leitungen anwenden zu können, wurden schließlich Rohre vorgeschlagen, bei denen das Kernrohr so stark ist, daß es die Längsspannung ganz, die Umfangsspannung und die Radialspannung aber nur zu einem Teil aufnehmen kann, während die restlichen Spannungsanteile von einer in wechselndem Windungssinn aufgetragenen Bandagierung durch glatte Bänder aufgenommen werden sollten. Auch diese Konstruktion ergibt bei immer höher werdenden Drücken und bei großen Nennweiten, wie sie bei Dampfkesseln großer Leistung vorkommen, Wanddicken für Kernrohre, die nicht mehr walzbar sind und, falls sie z. B. durch Bohren hergestellt werden, sehr teuer werden und durch den Temperaturabfall innerhalb dieser dicken Wand zu hohen zusätzlichen Spannungen führen.

Die Erfindung bezweckt die Herstellung gewickelter Körper, z. B. Wickelrohre, die diese Nachteile nicht aufweisen. Die Erfindung brucht auf folgenden Überlegungen:

Es ist bekannt, daß bei dickwandigen Rohren, die durch Innendruck beansprucht sind, das Verhältnis der Spannung in Längsrichtung des Rohres (im folgenden mit  $\sigma_L$  bezeichnet) zur Spannung in Umfangsrichtung des Rohres (im folgenden mit  $\sigma_U$  bezeichnet) auf der Außenseite des Rohres gleich 1:2 ist und daß das Verhältnis zum Rohrinnenen hin abnimmt. Die durch Innendruck in der Rohrwandung erzeugte Spannung in radialer Richtung (im folgenden mit  $\sigma_r$  bezeichnet), ist an der Innenseite der Rohrwand gleich dem im Rohr herrschenden Innendruck und nimmt zur Außenseite der Rohrwand bis zu dem außerhalb des Rohres herrschenden Druck, meist also

## Wickelhohlkörper mit dünnwandigem Kernrohr

Anmelder:

Phoenix-Rheinrohr Aktiengesellschaft,  
Vereinigte Hütten- und Röhrenwerke,  
Düsseldorf

Dipl.-Ing. Georg Kloska, Mülheim/Ruhr,  
ist als Erfinder genannt worden

## 2

auf 0 atü, ab. Für die Berechnung des Rohres mit Rücksicht auf die Zugfestigkeit des Rohrwerkstoffes muß man einen Spannungswert zugrunde legen, der aus einer Zusammensetzung der Spannungen  $\sigma_a$ ,  $\sigma_u$ ,  $\sigma_r$  gefunden werden muß. Diese sogenannte Vergleichsspannung  $\sigma_v$  ergibt sich nach der Schubspannungshypothese aus der größten und der kleinsten Spannung; demnach ist, da  $\sigma_u$  stets die größte positive und  $\sigma_r$  eine negative Spannung ist, die Vergleichsspannung  $\sigma_v = \sigma_u - \sigma_r$ . Beim vollwandigen Rohr nimmt die Vergleichsspannung  $\sigma_v$  von innen nach außen ab. Das Material eines vollwandigen Rohres kann also nur an seiner Rohrinnenwand bis zu seiner vollen Tragfähigkeit ausgenutzt werden.

Das Ziel der Erfindung besteht darin, durch Aufwickeln von Bändern ein Rohr zu schaffen, dessen Material über die ganze Rohrwanddicke gleichmäßig oder doch im wesentlichen gleichmäßig beansprucht wird. Für die Beanspruchung eines als Rohrwand gewickelten Bandes ist praktisch lediglich die Spannung in Längsrichtung des Bandes maßgebend (im folgenden mit  $\sigma_L$  bezeichnet). Es ist bekannt, Gummischläuche durch einlagige Drahtwicklungen zu verstärken, wobei der Draht in einem Winkel von  $26,5^\circ$  aufgewickelt ist. Dieser Wickelwinkel entspricht der Richtung der Resultierenden der Axial- und Umfangsspannung nur auf der Außenseite eines dickwandigen Rohres; an dieser Stelle ist nämlich  $\frac{\sigma_a}{\sigma_u} = 0,5$ .

Bei den bekannten Wickelhohlkörpern ist in allen Lagen die Steigung derart, daß keine Lücken zwischen den Bandwindungen bestehen. Da aber die Vergleichsspannung für ein gewickeltes Band  $\sigma_v = \sigma_L - \sigma_r$  von der Innenseite zur Außenseite des Wickelrohres abnimmt, wird das Band an der Außenseite nicht voll ausgenutzt.

109 647/286

Um die Spannungen durch das Band in günstigster Weise aufzunehmen, wird gemäß der Erfindung ein Wickelhohlkörper für hohe Innendrucke mit einem im Verhältnis zu seiner Wandstärke dünnen Kernrohr und in aufeinanderfolgenden Lagen den Windungssinn wechselnden, an den Kanten nicht miteinander verschweißten, glatten Bändern vorgeschlagen, bei dem die Bänder in verschiedenen Lagen mit solchen Steigungswinkeln aufgewickelt sind, daß der Tangens des Steigungswinkels in bei einlagiger Bewicklung an sich bekannter Weise jeweils gleich oder annähernd gleich dem Verhältnis der Längsspannung zur Umfangsspannung an der betreffenden Stelle der Wand des Wickelhohlkörpers ist, wobei die äußere Lage oder die äußeren Lagen der Bänder zur Anpassung an die Abnahme der Vergleichsspannung unter Belastung von Lücken zwischen den einzelnen Windungen gewickelt sind und/oder aus einem Werkstoff bestehen, der geringere Festigkeit hat als der Werkstoff der übrigen Bänder.

In manchen Fällen ist es aus einem oder anderem Grunde zweckmäßig, die Bänder in an sich bekannter Weise unter Zugvorspannung aufzubringen. Dadurch kann man die Vergleichsspannung über die Rohrwanddicke vergleichmäßigen.

Wickelt man mehrere Bandlagen mit Zugvorspannung übereinander, so erhalten bei hinreichend großer Lagenzahl die inneren Lagen und insbesondere das umwickelte Kernrohr eine Druckvorspannung, die der Betriebsbeanspruchung des Rohres, nämlich einer von innen nach außen abnehmenden Zugspannung, entgegenwirkt. Durch die Überlagerung dieser beiden Spannungsfelder kann bei geeigneter Wahl der Vorspannung eine im wesentlichen konstante resultierende Beanspruchung  $\sigma_r$  über die ganze Rohrwand und damit eine günstigere Werkstoffausnutzung erreicht werden als im nicht vorgespannten Vollwandrohr. Dieser Zustand wird in guter Näherung erreicht, wenn die Bänder unter einer Zugvorspannung aufgebracht sind, die etwa so groß ist, wie die Differenz der Vergleichsspannungen an der Innen- und Außenseite des Wickelhohlkörpers beim Betriebsdruck sein würde, wenn die Bänder ohne Vorspannung aufgebracht wären.

Die Rohre, die gemäß der Erfindung hergestellt sind, haben ferner die Eigenart, daß sie besonders kleine polare und äquatoriale Trägheits- und Widerstandsmomente besitzen.

In den Zeichnungen sind einige Ausführungsbeispiele der Erfindung schematisch dargestellt. Es zeigt

Fig. 1 in perspektivischer Ansicht einen Wickelhohlkörper gemäß der Erfindung, der zum Teil abgewickelt ist,

Fig. 2 einen Längsschnitt durch einen Wickelhohlkörper gemäß der Fig. 1,

Fig. 3 einen Längsschnitt durch einen gebogenen Wickelhohlkörper gemäß Fig. 2,

Fig. 4 und 5 Längsschnitte durch einen Wickelhohlkörper etwas anderer Art gemäß der Erfindung,

Fig. 6 ein abgeschlossenes Ende eines Wickelhohlkörpers gemäß der Erfindung,

Fig. 7 eine diagrammatische Darstellung der Windungslage der Wickelbänder.

Nach Fig. 1 und 2 ist um ein dünnwandiges Kernrohr 1 zunächst eine Lage von Bändern 2 gewickelt mit einem Steigungswinkel, der so groß ist, daß die Bänder in einer zweigängigen Schraube verlaufen. Zwischen den Windungen des Bandes 2 liegen somit Windungen des Bandes 2a. Auf diese Bewicklung

durch die Bänder 2 und 2a ist eine zweite Wicklung von Bändern 3 und 3a aufgebracht, die mit gleichem Steigungswinkel im umgekehrten Wicklungssinn aufgebracht sind. Auf die Lage der Bänder 3 und 3a ist wiederum eine Lage von Bändern 4 aufgetragen, wobei diese Bänder jedoch in einem größeren Steigungswinkel aufgebracht sind, so daß nebeneinander drei Bänder, 4, 4a und 4b Platz haben. Auf die Lage der Bänder 4 ist wiederum eine Lage von entsprechenden Bändern 5, 5a und 5b im gleichen Steigungswinkel aber im umgekehrten Wicklungssinn aufgebracht wie die Bänder 4, 4a und 4b. Auf diese Lage folgt dann eine Lage von fünf Bändern 6, 6a, 6b, 6c, 6d mit entsprechend größerem Steigungswinkel in umgekehrtem Wicklungssinn aufgebracht. Während in Fig. 2 zwecks Verdeutlichung nur fünf derartige Lagen von Bändern dargestellt sind, zeigt die Fig. 2 acht Lagen. Die äußere Lage des Bandes 9 hat dabei einen Steigungswinkel von etwa  $26,5^\circ$ .

Falls die Dicke der Bänder 2 im Verhältnis zum Durchmesser des Rohres genügend groß ist, wird schon der Steigungswinkel der darauf aufgewickelte Bänder 3 größer als der Steigungswinkel der Bänder gewählt werden können. Beispielsweise werden dann die Bänder 2 in einer dreigängigen Schraubenlinie und die Bänder 3 in einer viergängigen Schraubenlinie aufgebracht.

Zur Anpassung an die Abnahme der Vergleichsspannung nach außen hin sind die beiden äußeren Lagen der Bänder 8 und 9 mit Lücken 8' und 9' gewickelt. Die Anordnung dieser Lücken ermöglicht außerdem, solche Rohre zu Rohrbögen zu biegen und zwar in einem solchen Maße, bis die Kanten der Bänder der äußeren mit Lücken gewickelten Windungen einander berühren. Einen solchen Rohrbogen zeigt die Fig. 3. Dort sind auf ein Kernrohr 1 sechs Lagen von Bändern 2, 3, 4, 5, 6, 7 gewickelt, wobei zwischen den Windungen der Bänder 6 und 7 Lücken 6' bzw. 7' frei gelassen wurden. Das in Fig. 3 dargestellte Rohr ist so stark gebogen, daß auf der Bogeninnenseite die Lagen der Bänder 6 und 7 sich berühren, während auf der Außenseite des Bogens 6' und sich noch vergrößert haben.

Während nach dem obigen Beispiel bei größerem Steigungswinkel außen mehr Bänder aufgewickelt sind als bei dem kleineren Steigungswinkel innen, zeigt Fig. 4 den Längsschnitt durch einen Wickelhohlkörper, bei welchem die Breite der Bänder entsprechend der Vergrößerung des Steigungswinkels  $\alpha$  zunimmt. Demnach hat das äußerste Band 18, welches mit einem Winkel  $\alpha_{18}$  gleich  $26,5^\circ$  aufgewickelt ist, eine Breite, die erheblich größer ist als die Breite des Bandes 17, welches mit dem kleineren Steigungswinkel  $\alpha_{17}$  aufgewickelt ist. Weiter nach innen verringern sich die Breiten der Bänder 16, 15, 14, 13, 12, entsprechend den kleineren Steigungswinkeln  $\alpha$  bis  $\alpha_{11}$ .

Das Kernrohr 10 ist auch hier im Verhältnis zur Gesamtdicke des Mantels dünn. Die äußeren Windungen der Bänder 17 und 18 sind auch hier mit Lücken 17' und 18' aufgebracht.

Das Aufbringen der Bänder unter Zugspannung kann in an sich bekannter Weise z. B. dadurch erfolgen, daß die Bänder gebremst werden, während auf das um seine Achse gedrehte Rohr aufgewickelt werden, z. B. dadurch, daß sie eine Art Walzger durchlaufen. Man kann die Vorspannung auch durch Erhitzen erreichen, daß die Bänder aufgeschumpft werden.

den. Bei warmgehenden Behältern und Rohren, also solchen, die im Inneren höheren Temperaturen ausgesetzt sind, kann die Vorspannung während des Betriebes erzeugt werden.

Dies kann einmal dadurch erreicht werden, daß für das Kernrohr und/oder die inneren Lagen der Bänder Werkstoffe benutzt werden, die einen größeren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen als die äußeren Lagen, wie es bei Mehrlagenrohren bereits bekannt ist. Durch die Behinderung der Wärmeausdehnung im inneren Teil des Wickelrohres entsteht dann eine Druckspannung in diesem Teil. Dieselbe Wirkung erzielt man auch durch eine Vergrößerung des Temperaturgefälles von der Rohrrinnenwand zur Außenwand. Eine beträchtliche Wärmeisolierung erfolgt bei Wickelhohlkörpern zwar schon dadurch, daß der Wärmeübergang von Band zu Band erheblich schlechter ist als der Übergang im vollwandigen Rohr. Sie kann aber noch durch Einbringen isolierender Schichten zwischen die einzelnen Lagen vergrößert werden.

Fig. 5 zeigt ein solches Rohr im Längsschnitt. Unmittelbar auf dem Kernrohr 20 sowie zwischen den folgenden Bandlagen 21, 22 und 23 sind Isolierschichten 27, 28 und 29 angeordnet. Die übrigen Lagen der aufgewickelten Bänder 23, 24, 25, 26 entsprechen den Lagen 6, 7, 8, 9 der Fig. 2. Die Isolierungsschichten müssen eine ausreichende Festigkeit haben, um dem Druck zu widerstehen, den die Bänder auf sie ausüben. Die Vorspannung kann dadurch noch vergrößert werden, daß ein Isoliermaterial gewählt wird, dessen Wärmeausdehnungskoeffizient größer ist als der des Wickelbandes.

In dem Diagramm gemäß Fig. 7, in welchem als Ordinate der Steigungswinkel  $\alpha$  und als Abszisse der Abstand  $x$  des jeweiligen Meßpunktes von der Innenwand des Wickelhohlkörpers gewählt ist, zeigt die Linie I, daß der Steigungswinkel  $\alpha$ , mit dem die Bänder aufgewickelt sind, auf der Außenseite des Wickelhohlkörpers etwa  $26,5^\circ$  beträgt und zur Innenseite abfällt. Es ist zweckmäßig, für die Innenseite einen Winkel  $\alpha$  zu wählen, der einen endlichen Wert besitzt; grundsätzlich ist es aber möglich, die Innenlage mit dem Winkel  $\alpha = 0$ , also in Form paralleler Ringe aufzubringen, die beispielsweise aufgeschrumpft sind.

Es hat sich nun gezeigt, daß man den Werkstoff noch besser ausnutzen kann, wenn man die Steigungswinkel  $\alpha$  bei den inneren Lagen geringer wählt, als dies nach der Theorie (Linie I) erforderlich ist, und sie für die äußeren Lagen entsprechend größer wählt. Daraus ergibt sich die Kurve II. Man kann nämlich den Winkel bei den inneren Lagen kleiner und bei den äußeren Lagen größer machen als es dem Verhältnis  $\frac{\sigma_1}{\sigma_n}$  entspricht, weil es vor allem darauf ankommt, die insgesamt auftretenden Längsspannungen aufzunehmen. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß man den Werkstoff besser ausnutzen kann, jedoch den Nachteil, daß das Rohr größere Trägheits- und Widerstandsmomente aufweist. Im Extremfall bestehen die inneren Bandlagen aus dicht nebeneinander gewickelten Bändern, während die äußeren Lagen aus Bändern oder sonstigen Ankern, z. B. Schlitzrohren, bestehen, welche nur Längsspannungen aufnehmen.

Die vorgenannten Angaben über den Spannungs-

verlauf und damit für den Steigungswinkel gelten für den Fall, daß die Beanspruchung der ganzen Rohrwand im Bereich elastischer Verformung bleibt. Wird der Innendruck so hoch gewählt, daß der Werkstoff zum Fließen kommt — bei warmgehenden Rohrleitungen ist dies der Regelfall —, so ändern sich die Anstrengungsverhältnisse, wie festigkeitstheoretisch nachgewiesen wurde (E. Siebel, 1942).

Aus den bekannten Formeln für den Spannungsverlauf im teil- oder vollplastischen Zustand können auch für diesen Fall die Steigungswinkel nach der

Formel  $\text{tg} = \frac{\sigma_1}{\sigma_n}$  berechnet werden.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Wickelhohlkörper für hohe Innendrucke, der aus einem im Verhältnis zu seiner Wandstärke dünnen Kernrohr und in aufeinanderfolgenden Lagen den Windungssinn wechselnden, an den Kanten nicht miteinander verschweißten, glatten Bändern besteht, dadurch gekennzeichnet, daß die Bänder in verschiedenen Lagen mit solchen Steigungswinkeln aufgewickelt sind, daß der Tangens des Steigungswinkels in bei einlagiger Bewicklung an sich bekannter Weise jeweils gleich oder annähernd gleich dem Verhältnis der Längsspannung zur Umfangsspannung an der betreffenden Stelle der Wand des Wickelhohlkörpers ist, wobei die äußere Lage oder die äußeren Lagen der Bänder zur Anpassung an die Abnahme der Umfangsspannung unter Belassung von Lücken zwischen den einzelnen Windungen gewickelt sind und/oder aus einem Werkstoff bestehen, der geringere Festigkeit hat als der Werkstoff der übrigen Bänder.

2. Wickelhohlkörper nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bänder unter einer Zugvorspannung aufgebracht sind, die etwa so groß ist, wie die Differenz der Vergleichsspannungen an der Innen- und Außenseite des Wickelhohlkörpers beim Betriebsdruck sein würde, wenn die Bänder ohne Vorspannung aufgebracht wären.

3. Wickelhohlkörper nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierstoff zwischen einzelne Bandlagen eingelegt ist.

4. Wickelhohlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Steigungswinkel von inneren Lagen kleiner ist als nach der Regel des Anspruches 1 und der Steigungswinkel von äußeren Lagen entsprechend größer ist, so daß durch beide gemeinsam die gesamte Längszugkraft aufgenommen wird, die äußeren Lagen aber einen erheblich größeren Anteil daran haben.

5. Wickelhohlkörper nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite mindestens eines Teiles der Bänder von den inneren zu den äußeren Lagen zunimmt.

In Betracht gezogene Druckschriften:

Deutsche Patentschriften Nr. 574 500, 858 615;  
britische Patentschrift Nr. 414 233;  
USA.-Patentschrift Nr. 2 714 414.

In Betracht gezogene ältere Patente:

Deutsches Patent Nr. 947 033.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen





